

KEBIJAKAN PENGELOLAAN SUMBERDAYA PESISIR BERBASIS PERDAGANGAN KARBON

Policy of Sustainable Coastal Resource Management Based on Carbon Crediting

Agus Sadelie¹, Tridoyo Kusumastanto², Cecep Kusmana³, Hartrisari Hardjomidjojo⁴

¹Mahasiswa S3 Prodi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan laut, ²Pengajar Pascasarjana IPB, ³Pengajar Pascasarjana IPB, ⁴Pengajar Pascasarjana IPB

Email: sadelie@yahoo.com

HP : +62811116750

ABSTRACT

Indonesia as a archipelagic developing country in the form of the islands has a high level of vulnerability to environmental damage, especially in coastal areas. Sea level rise could cause flooding, even predicted to sink some small islands. Meanwhile, the majority of Indonesia's population live in coastal areas with low adaptive capacity and extremely vulnerable to global climate change. Therefore it needed a new policy of coastal resource management strategy based on carbon crediting. This study was primarily aimed at estimating the potential for CO₂ emissions, to predict whether this coastal region is a carbon sink or carbon source. The method performed in this study is the modeling of dynamic systems. The results showed that Sembilang National Park has a potential avoided emission about 1,16 Mt CO₂ yr⁻¹ with average carbon crediting about 11,56 million USD th⁻¹ (by using carbon price 10 USD tCO₂⁻¹). That means this coastal region is a carbon sink. Utilization of carbon crediting options and sylvo-fishery options with NPV of 8566.77 million USD (3.6 times greater than NPV BAU model). This could encourage employment opportunities for 104,411 workers (11 times greater than BAU model).

Key Words: Carbon source, carbon sink, dynamic system, avoided emission

PENDAHULUAN

Kebijakan pengelolaan sumberdaya alam memiliki peran penting bagi perekonomian nasional, khususnya bagi masyarakat pesisir yang merupakan 68% dari penduduk Indonesia berada di wilayah ini. Mayoritas dari populasi ini berada pada kantong-kantong kemiskinan dengan kapasitas adaptasi yang rendah serta sangat rentan terhadap perubahan iklim global. Untuk itu diperlukan suatu upaya pengelolaan sumberdaya pesisir dan pemberdayaan masyarakatnya, baik dalam hal adaptasi yaitu penyesuaian terhadap perubahan iklim maupun dalam hal mitigasi, yaitu suatu upaya pencegahan meningkatnya laju emisi CO₂. Secara kelembagaan terdapat banyak regulasi yang mendukung pengelolaan sumberdaya pesisir berbasis perdagangan karbon itu, diantaranya UU No. 14/1996 (Konvensi Perubahan Iklim), UU No. 17/Tahun 2004 (Ratifikasi Protokol Kyoto), UU No. 27/Tahun 2007 (Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Pulau-pulau Kecil).

Sumberdaya pesisir khususnya hutan

mangrove, memiliki fungsi dan peranan penting dalam kehidupan umat manusia, baik sebagai fungsi fisik, ekologis dan ekonomi maupun sebagai fungsi mitigasi dalam mengabsorpsi CO₂ dan menyimpannya dalam bentuk biomassa pohon (Kusmana *et al.* 2003; Twilley *et al.* 1992). *Carbon pool* dalam bentuk biomassa pohon, saat ini bersifat strategis dan memiliki peran penting bagi perekonomian. Oleh karena itu, salah satu strategi pengelolaan sumberdaya pesisir berbasis perdagangan karbon merupakan alternatif pembangunan ekonomi baru dalam memanfaatkan potensi kredit karbon yang ada (TCG 2008; MI 2009; Bratasida 2010).

Pengelolaan sumberdaya pesisir bersifat kompleks, dinamis dan rentan (*vulnerable*) terhadap berbagai konflik kepentingan. Untuk itu diperlukan suatu paradigma "*sustainomic*" yang berasosiasi antar basis disiplin ilmu, bersinergi satu sama lain secara komprehensif dan eksis antara ekonomi, sosial, serta dimensi-dimensi lingkungan dari pembangunan berkelanjutan (Munasinghe 2003). Paradigma tersebut

perlu disertai instrumen kebijakan yang saling komplementer dan integratif antar sektor, berdampak sistemik terhadap perekonomian, efektif secara ekonomi dan kelembagaan serta harus membangun kemandirian ekonomi rakyat (Kusumastanto 2003).

Dua skenario diajukan sebagai alternatif model pengelolaan sumberdaya pesisir: cara saat ini (*business as usual*; BAU) dan kredit karbon (*carbon crediting*; CC). Pengelolaan dengan cara saat ini seringkali menimbulkan spektrum dampak, deplesi sumberdaya, penurunan stok karbon terestrial serta meningkatnya laju emisi CO₂. Sementara itu, pengelolaan berbasis kredit karbon diharapkan dapat membuka peluang terciptanya pembangunan secara berkelanjutan: perbaikan kualitas lingkungan, pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan antar generasi (*intergenerational welfare*).

Kawasan konservasi hutan mangrove TNS di Banyuasin (Provinsi Sumatera Selatan), memiliki potensi dapat dikelola dengan pendekatan kredit karbon itu dan dipilih sebagai lokasi penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk merancang kebijakan pengelolaan sumberdaya pesisir serta mengukur tingkat emisi CO₂ terhindarkan (*avoided emission*) sebagai basis penilaian *carbon crediting* sumberdaya hutan mangrove berdasarkan prinsip *payment for ecosystem services*. Terdapat banyak varian skema kredit karbon yang dapat dimanfaatkan pada saat ini. Salah satunya adalah melalui skema *reducing emission from deforestation and forest degradation* (REDD+).

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada Bulan Februari-Maret 2009 dan Juli-Agustus 2010. Lokasi penelitian berada di wilayah Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan dengan fokus kajian pada kawasan pesisir Taman Nasional Sembilang (TNS) dan kawasan *frontier area* (FA), yaitu suatu wilayah perbatasan yang sangat berpengaruh terhadap keberlanjutan kawasan hutan konservasi.

Jenis dan Sumber Data

Jenis data dan informasi yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil kombinasi *remote sensing* pada peta citra landsat dan *ground survey* pada skala plot. Data primer terdiri dari data laju

historis deforestasi dan degradasi hutan TNS dan *frontier area* tahun 2003-2006 serta data-data hasil pengukuran biomassa di lapangan. Data sekunder terdiri dari data kategori berupa kumpulan kebijakan publik di bidang pemanfaatan ruang dalam bentuk peraturan dan perundangan yang berlaku, serta data hasil penelitian sebelumnya (pihak lain) dan data-data sekunder lainnya yang relevan.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengukuran biomassa untuk areal berhutan dilakukan dengan pendekatan kerincian tinggi (*Tier 2-3*), yaitu suatu kombinasi metode jalur berpetak berdasarkan plot sampel (*Tier 3*) yang dikembangkan oleh ICRAF (Hairiah *et al.* 2001) dengan data hipotetis untuk jenis yang sama di lokasi lain (*Tier 2*). Pada metode dengan *Tier 3* ini, plot utama memiliki ukuran 5x40 m, digunakan untuk menginventarisasi dan mengukur pohon berdiameter 5-30 cm. Apabila terdapat pohon berdiameter lebih dari 30 cm, maka plot diperbesar menjadi 20x100 m. Demikian halnya untuk valuasi ekonomi digunakan data hipotetis yang digunakan Kusumastanto (1998) pada kawasan konservasi mangrove di wilayah Sumatera dan Selat Malaka.

Teknik Analisis Data

Metode analisis pada studi ini adalah analisis sistem dinamik dengan pemrograman *I-Think® Ver. 6.1* (HPS 1994). Metode pengumpulan data dan analisis dilakukan secara *singlecase multi level analysis* dengan prosedur "SAVE DYNAMIC": *Spatial* (ERSI 2000), *Allometric equation* (Kusmana 1997), *Valuation of Economic*, yang dilanjutkan dengan analisis alokasi ekonomi terbaik (*the best economic allocation*) (Kusumastanto 2001), serta simulasi pendekatan sistem dinamik (Hartrisari 2007) dengan dua skenario *business as usual* (model BAU) dan skenario *carbon crediting* (model CC).

Reference emission level (REL) ditentukan berdasarkan data emisi historis dari deforestasi dan degradasi hutan Indonesia 2003-2006, serta kombinasi *remote sensing* (data spasial) dan *ground survey* (Wibowo 2010), sedangkan prediksi perubahan tutupan hutan masa depan ditentukan berdasarkan gabungan data historis dan pendekatan modeling dengan prediktor laju populasi. Pendugaan biomassa hutan menjadi karbon dilakukan dengan mengkonversi data inventarisasi hutan pada skala plot dengan persamaan alometrik pada tingkat kerincian yang tinggi (*Tier 2-3*)

(Raison *et al.* 2009 dalam Krisnawati 2010).

Untuk menduga biomassa dan cadangan karbon digunakan teknik analisis *allometric equation* (Murdiyarso *et al.* 2004) sebagai berikut :

$$C = 0,5 * W$$

Keterangan :

C = Cadangan Karbon (tC) 1)
W = Biomassa (kg)
0,5 = Koefisien kadar karbon pada tumbuhan (faktor konversi)

Untuk menduga biomassa tanaman mangrove permukaan (W_{top}) digunakan teknik allometrik berdasarkan spesies tanaman (Kusmana *et al.* 1992, Komiyama *et al.* 2008). Formulasi umum adalah sebagai berikut :

$$W_{top} = a * DBH^b \dots\dots\dots 2)$$

Keterangan:

W_{top} : Above ground biomass (kg)

a : Koefisien konversi

b : Koefisien allometrik

Rhizophora spp : a = 0,105 b = 2,68

Bruguiera gymnorrhiza : a(≠)0,186 b = 2,31

Xylocarpus sp. : a = 0,082 b = 2,59

Untuk menduga potensi emisi CO₂ dari degradasi dan deforestasi dihitung menggunakan data *carbon stock* dengan formulasi sebagai berikut (Busch *et al.* 2009):

$$\text{Emisi CO}_2 = 3,67 * \Delta C_{LC-D} \dots\dots\dots 3)$$

Keterangan:

3,67 = Rasio *atomic carbon dioxide* terhadap karbon: 44/12 (ton CO₂e/ton C)

ΔC_{LC-D} = perubahan *carbon stock* dalam biomassa hidup akibat konversi atau degradasi

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)}$$

Selanjutnya untuk menghitung perubahan *carbon stock* tersebut diestimasi dengan formula sebagai berikut:

$$\Delta C_{LC-D} = A * L_{C-D} \dots\dots\dots (4)$$

$$L_{C-D} = C_{(before)} - C_{(after)} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

A = Perubahan luas lahan akibat konversi dan degradasi (ha)

L_{C-D} = Perubahan nilai karbon akibat konversi dan degradasi (tC)

$C_{(before)} - C_{(after)}$ = Perubahan nilai karbon sebelum dan sesudah terjadinya konversi dan degradasi hutan (tC)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Sistem

Konsep identifikasi sistem merupakan suatu rantai hubungan sebab akibat antara berbagai kebutuhan dan masalah yang terdapat di lingkungan pesisir dan harus dipecahkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Hal ini digambarkan dalam bentuk diagram lingkaran sebab-akibat (*causal-loop*) sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

Terdapat tiga sub-model utama, yaitu (1) Sub-model Penduduk, yaitu jumlah populasi yang mempengaruhi tekanan terhadap penggunaan lahan, baik di *frontier area* maupun di dalam kawasan TNS, (2) Sub-model emisi CO₂, terdiri dari penggunaan areal hutan di luar kawasan (*frontier area*): pertanian, tambak, pemukiman dan infrastruktur, maupun penggunaan lahan di dalam kawasan TNS sebagai

akibat tekanan penduduk terhadap sumberdaya hutan mangrove, (3) Sub-model Ekonomi Karbon, yaitu aktivitas konsesi pengelolaan TNS melalui IUPJL (ijin usaha pemanfaatan jasa lingkungan). Ketiga variabel penduduk, emisi CO₂ dan ekonomi karbon merupakan variabel pendukung (*state variable*) dalam membangun model konseptual, saling berinteraksi membentuk hubungan sebab akibat (*causal loop*) negatif maupun positif. Seluruh variabel berinteraksi secara dinamis membentuk suatu aliran yang dapat mempengaruhi *net carbon offset*.

Permasalahan teridentifikasi ketika jumlah penduduk meningkat memerlukan lahan, baik untuk kebutuhan pangan (*agriculture*) maupun transmigrasi dan pemukiman (*settlement*), sehingga dapat menegasikan luas hutan di *frontier area* (FA), dalam hal ini termasuk hutan pada areal penggunaan lain (APL) maupun hutan mangrove di TNS. Demikian

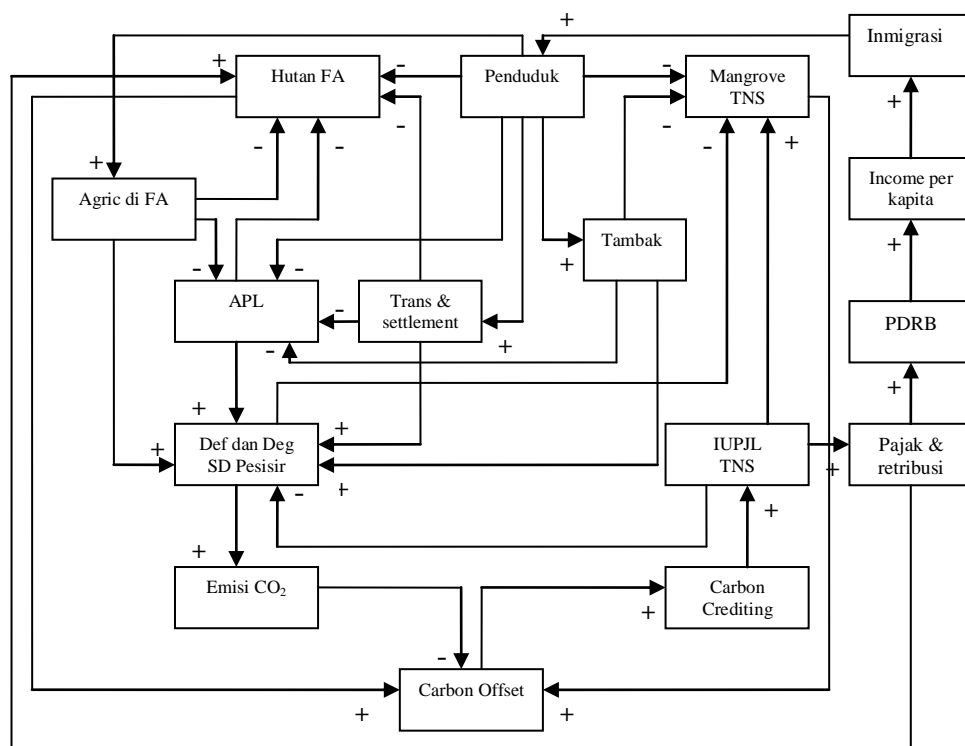
selanjutnya, tren ini meningkatkan laju deforestasi dan degradasi hutan, mempengaruhi tingkat konsentrasi emisi CO₂ dan stok karbon terestrial dari hutan FA dan TNS melalui aliran *net carbon offset*. Variabel *net carbon offset* merupakan jumlah emisi CO₂ terhindarkan (*avoided emission*) antara emisi CO₂

Selanjutnya jumlah *net carbon offset* ini merupakan komoditi yang dapat ditransaksikan sebagai basis penilaian *payment for ecosystem services* dimana pihak pemanfaat layanan ekosistem akan membayar pihak pengelola ekosistem, setelah disertifikasi dan dibayar melalui ERPA (*emission reduction purchase agreement*). Hubungan sebab akibat tersebut mempengaruhi secara positif tingkat *carbon crediting*, yang selanjutnya berdampak positif terhadap variabel lainnya. Tingkat *net carbon offset* ini merupakan hasil perbandingan antara skenario model *business as usual* (model BAU) dengan skenario model *carbon crediting* (model CC).

yang dilepas ke udara (*carbon source*) dengan emisi CO₂ yang dapat disekuestrasi oleh tanaman (*carbon sink*). Kandungan karbon terestrial sangat penting untuk mensekuestrasi emisi CO₂ (*carbon sink*) atau GRK di udara.

Struktur Model Pengelolaan Sumberdaya Pesisir

Struktur model pengelolaan sumberdaya pesisir terdiri dari tiga struktur sub- model : Penduduk, Emisi CO₂ dan Ekonomi Karbon. Struktur sub-model Penduduk merupakan suatu sistem dimana jumlah populasinya ditentukan oleh laju natalitas dan tingkat migrasi serta laju mortalitas (lihat Gambar 2). Sementara itu, struktur sub-model emisi CO₂ (lingkungan) TNS dan *frontier area* dibangkitkan oleh adanya deforestasi dan degradasi hutan serta perubahan tata guna lahan dan hutan (*land use land use change and forestry*, LULUCF) (lihat Gambar 3).



Gambar 1 Diagram lingkaran sebab-akibat (*causal-loop*) model dinamik pengelolaan sumberdaya pesisir berkelanjutan berbasis perdagangan karbon.



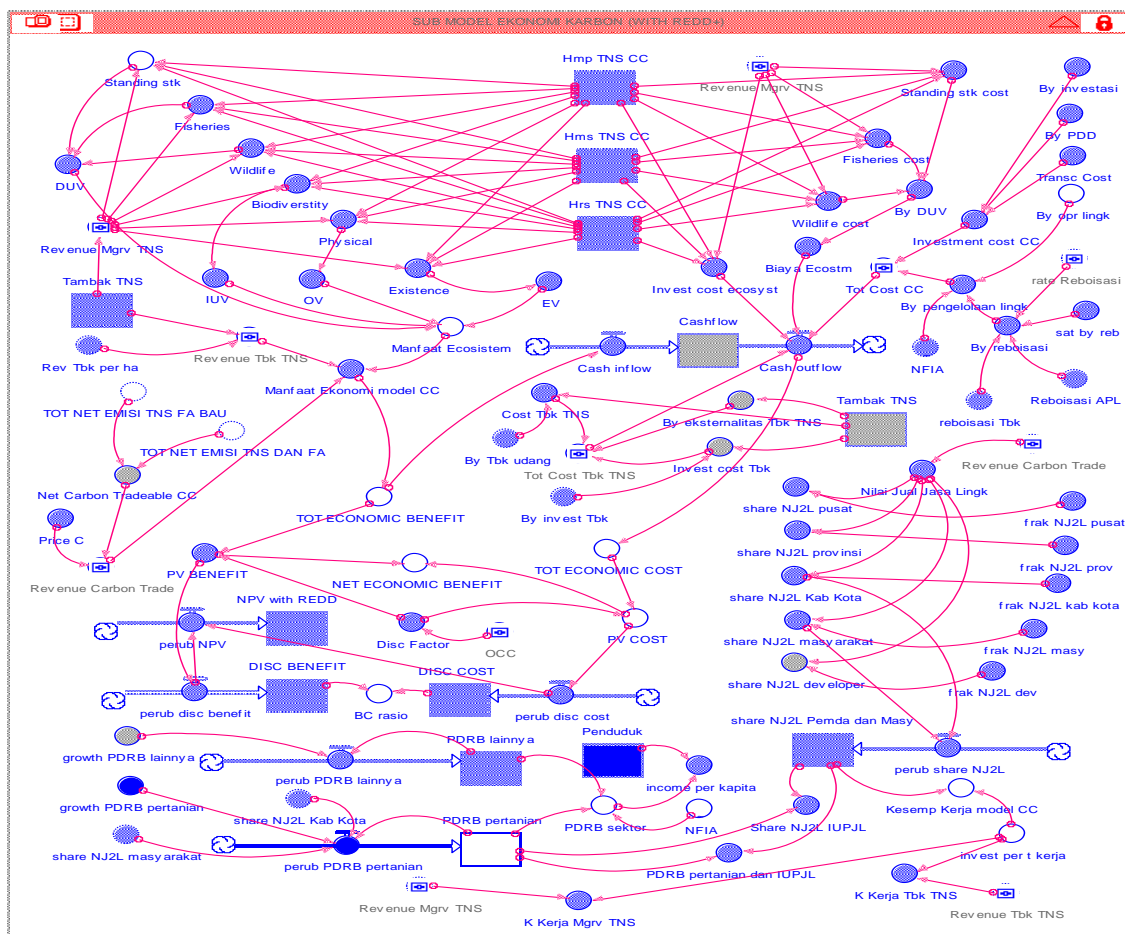
Gambar 2. Struktur sub-model penduduk pengelolaan sumberdaya pesisir



Gambar 3. Struktur sub-model emisi CO₂ pengelolaan sumberdaya pesisir

Deforestasi dan degradasi hutan mangrove : primer (Hmp), sekunder (Hms) dan hutan rawa sekunder (Hrs) di *frontier area* lebih disebabkan secara terencana (*planned deforestation*) melalui RUTR untuk *agriculture*, pemukiman, infrastruktur dan areal penggunaan lainnya. Sementara itu di dalam kawasan TNS, lebih disebabkan secara *unplanned deforestation*: bencana alam, perambahan hutan (*encroachment*) untuk areal tambak dan areal penggunaan lainnya (APL).

Struktur sub-model Ekonomi Karbon terdiri atas beberapa level dan variabel lainnya. Tiga *level* diantaranya merupakan interaksi *interface* antara sub-model Ekonomi Karbon dengan sub-model Penduduk dan sub-model Emisi CO₂. Sub-model Ekonomi Karbon dapat mempengaruhi sub-model Penduduk melalui *share* NJ2L (Nilai Jual Jasa Lingkungan) IUPJL yang selanjutnya dapat mempengaruhi besaran *share* kesempatan kerja skenario model CC (lihat Gambar 4).



Gambar 4 Struktur sub-model ekonomi karbon pengelolaan sumberdaya pesisir

Simulasi dan Optimasi Alternatif Pemodelan

Pengelolaan Sumberdaya Pesisir

Pemodelan diajukan sebagai alternatif *the best economic allocation* merupakan dua opsi pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya hutan mangrove pada dua skenario model sebagai berikut:

1. Skenario model *business as usual* (model BAU), yaitu kebijakan pengelolaan kawasan TNS sebagai

kawasan konservasi dengan tingkat laju deforestasi dan degradasi sebagaimana saat ini berlangsung. Sementara itu kebijakan pemanfaatan konversi hutan di *frontier area* (FA) untuk pengembangan industri pertanian secara luas termasuk pengembangan budidaya tambak.

2. Skenario model *carbon crediting* (model CC), yaitu suatu model alternatif pengelolaan sumberdaya pesisir berbasis perdagangan karbon. Secara

filosofis, skenario ini bermakna bahwa konversi hutan pada areal yang tidak dilindungi undang-undang di *frontier area* adalah hak kedaulatan semua pihak yang memerlukan pertumbuhan ekonomi. Dengan tanpa paksaan harus melaksanakan moratorium industri pertanian hutan tanaman dan kebun, pembangunan tetap harus berjalan untuk masa depan bangsa. Hal penting adalah bagaimana mengelola pada kawasan yang dilindungi undang-undang agar dapat mereduksi efek gas rumah kaca sebagai akibat konversi hutan itu.

Prinsip dasar dalam simulasi dan optimasi alternatif pemodelan ini adalah mencari suatu model paling kredibel, mengurangi tingkat deplesi sumberdaya alam yang dapat memicu tingkat emisi CO₂ serta kemampuannya mendorong pertumbuhan ekonomi wilayah setempat. Ekspektasi terhadap distribusi pendapatan serta peluang kesempatan kerja bagi masyarakat setempat, merupakan pilihan lain yang dapat dipertimbangkan.

Skenario model BAU dan skenario model CC merupakan dua model dengan pendekatan simulasi untuk memprediksi apa yang akan terjadi (*what would happened*) dan pendekatan optimasi pada zona pemanfaatan dan zona tradisional di TNS untuk kegiatan apa yang sebaiknya terjadi (*what should happened*). Struktur model dua skenario tersebut merupakan hubungan sebab akibat (*causal loop*) dengan tujuan untuk valuasi ekonomi dan NJ2L sumberdaya mangrove dengan efek yang ditimbulkannya berupa variabel endogen emisi CO₂ serta spektrum dampak pada variabel lainnya. Model BAU dan model CC merupakan model dinamik yang bersifat kontinum dan dapat menjelaskan adanya proses penurunan dan peningkatan jasa-jasa lingkungan dari waktu ke waktu selama 25 tahun simulasi model.

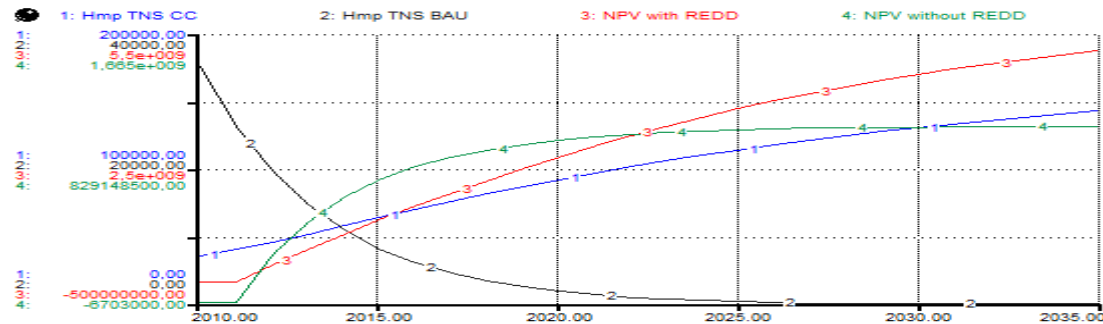
Hasil analisis menunjukkan bahwa di masa yang akan datang, kerja keras harus dilakukan untuk menghasilkan skenario alternatif yang dapat menunjukkan pola mitigasi dan pola adaptasi dalam pengelolaan kawasan konservasi TNS secara berkelanjutan, baik bagi masyarakat yang tinggal di sekitar TNS maupun masyarakat di luar kawasan yang tergantung pada ketersediaan jasa-jasa lingkungan. Penilaian terhadap jasa-jasa lingkungan cukup penting untuk memberikan kesadaran dan

pemahaman mengenai manfaat yang dapat diperoleh serta dapat membantu dalam pengambilan keputusan.

Dalam konsep ekonomi lingkungan, Perman *et al.* (1996) menjelaskan bahwa dalam perspektif biofisik, emisi CO₂ merupakan bahan pencemar yang bersifat *stock pollution* dimana kerusakan yang ditimbulkan merupakan fungsi dari stok residu dan bersifat kumulatif. Dalam konteks laju deforestasi dan degradasi hutan mangrove, sejumlah emisi CO₂ akan disekuestrasi oleh tanaman tersebut dan disimpan secara kumulatif dalam bentuk biomassa atau karbon.

Berdasarkan hasil penelitian ini bahwa daya serap mangrove terhadap karbon jauh lebih tinggi (227,3 tC ha⁻¹) daripada tanaman hutan lainnya seperti *Acacia mangium* (62,08 tC ha⁻¹) atau *Eucalyptus* sp. (75,89 tC ha⁻¹), yang ditanam di *frontier area*. Dengan adanya keterkaitan mangrove dan emisi CO₂ ini, maka akan terjadi *loop* dengan *ecosystem services sector* pada komponen karbon (*climate regulation*). Demikian seterusnya secara kontinum berkoneksi dengan sektor lainnya.

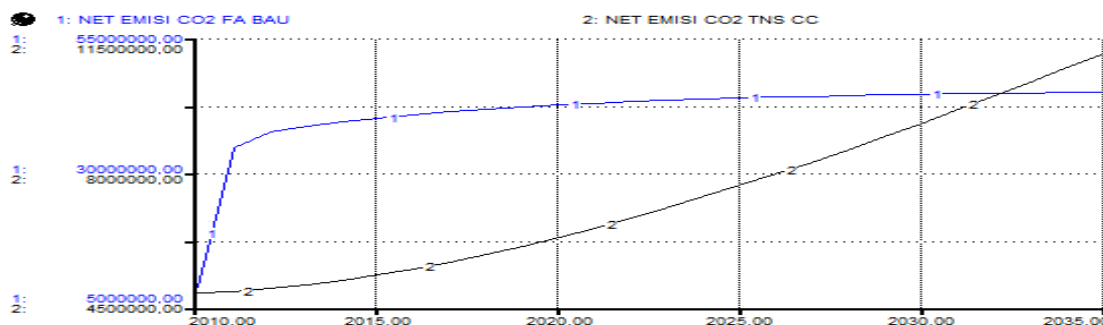
Hasil analisis model CC menunjukkan nilai ekonomi total dari opsi pemanfaatan *carbon crediting* dan opsi *syloffishery* berdasarkan *the net present value* (NPV) sebesar 8.566,77 juta USD (3,6 kali > NPV BAU) yang dapat mendorong peluang kesempatan kerja sebesar 104.411 tenaga kerja (11 kali > model BAU). Besarnya nilai *carbon revenue* (11,56 juta USD th⁻¹) karena terdapat sejumlah emisi CO₂ terhindarkan (*avoided emission*) sebesar 28,9 juta tCO₂ selama umur simulasi (25 tahun), atau rata-rata sebesar 1,16 juta tCO₂ th⁻¹. Besarnya peluang kesempatan kerja model CC terjadi karena terdapat alokasi *carbon revenue* atau nilai jual jasa lingkungan (NJ2L) bagi masyarakat secara langsung sebesar 20% dan untuk pemerintah Kabupaten Banyuasin 20% (Permenhut No. 36/2009). Kontribusi ini dapat mempengaruhi tingkat investasi langsung per tenaga kerja di wilayah Kabupaten Banyuasin, mengakselerasi pertumbuhan ekonomi wilayah setempat, peluang kesempatan kerja baru serta peningkatan pendapatan masyarakat. Selain itu juga secara ekologis terdapat jaminan stok sumberdaya hutan mangrove primer yang semakin meningkat, dari 35.205 ha tahun 2010 menjadi 143.166 ha pada tahun 2035 melalui prinsip-prinsip pengelolaan, reboisasi maupun restorasi kawasan. Secara diagramatis disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Kecenderungan laju hutan mangrove primer (Hmp) dan NPV

Perbandingan net emisi CO₂ yang dilepaskan di TNS pada model CC dan di FA pada model BAU

disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Kecenderungan laju emisi CO₂ di TNS (model CC) dan di FA (model BAU)

Gambar 6 menunjukkan dimana kurva net emisi CO₂ FA BAU terjadi *over shooting* pada tahun kedua pengelolaan, sehingga terjadi lonjakan emisi CO₂. Hal ini terjadi karena ada faktor pendorong yang direncanakan (*planned deforestation*) berupa pemberian ijin konsesi untuk hutan tanaman industri dan perkebunan sawit. Diprediksi pihak pemegang ijin konsesi akan segera mengkonversi areal tersebut pada awal-awal tahun pengelolaan. Sementara itu, apabila sistem pengelolaan kawasan pesisir secara *business as usual*, terutama di *frontier area* dan berlangsung terus tanpa ada intervensi kebijakan, maka diprediksi akan terjadi kecenderungan di masa mendatang sebagai berikut:

1. Jika deforestasi dan degradasi hutan meningkat di areal TNS (sebagai *buffer* emisi CO₂) pada skenario model BAU, maka akan terjadi kecenderungan penurunan kapasitas *carbon stock*, konsentrasi emisi CO₂ meningkat dan berdampak pada terhambatnya proses suksesi alami hutan mangrove. Bila ini terjadi, maka ekosistem pesisir juga akan terpengaruh, sehingga dapat mengganggu kestabilan stok sumberdaya

perikanan di kawasan pesisir TNS dan sekitarnya.

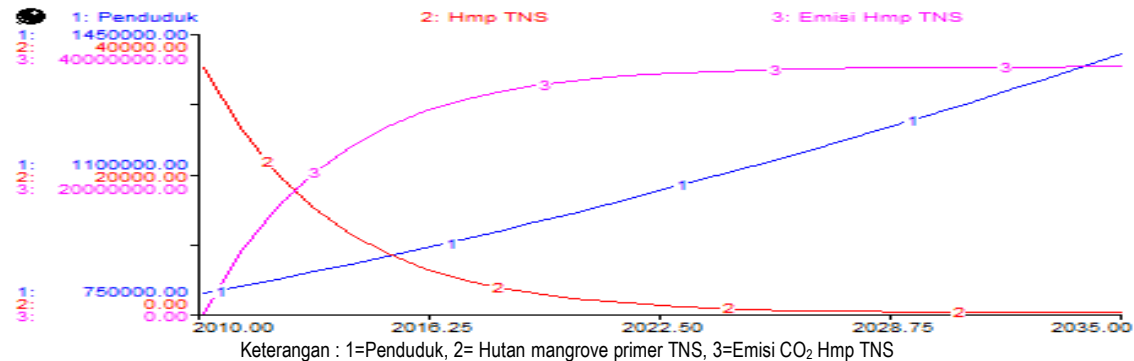
2. Jika deforestasi dan degradasi hutan meningkat di *frontier area* pada skenario model BAU, maka diprediksi akan terjadi peningkatan erosi, serta mengganggu hidrologi dan biomassa hutan mangrove. Rendahnya biomassa mangrove dapat mempengaruhi proses evaporasi dan presipitasi, sehingga volume air hujan yang jatuh langsung ke tanah semakin meningkat. Hal ini dapat meningkatkan *runoff* permukaan dan erosi, sehingga sedimentasi di daerah estuaria TNS semakin meningkat. Kecenderungan meningkatnya sedimentasi dikhawatirkan akan terjadi proses HAB (*harmful algae blooming*) yang dapat menyebabkan kematian ikan secara massal serta terhambatnya proses suksesi alami (*regrowth*) pada jenis-jenis mangrove tertentu

Validasi Perilaku Model

Pengujian validasi model difokuskan pada uji prediksi perilaku model di masa depan, dengan mengamati tren model atas perubahan variabel. Kecenderungan peningkatan variabel populasi

terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap kondisi lingkungan TNS menunjukkan pola *limit to growth* (Meadows 1972). Prediksi perilaku simulasi model terhadap ketiga

variabel tersebut dapat dikatakan sah karena menunjukkan kemiripan dengan kondisi eksisting saat ini sebagaimana disajikan pada Gambar 5.

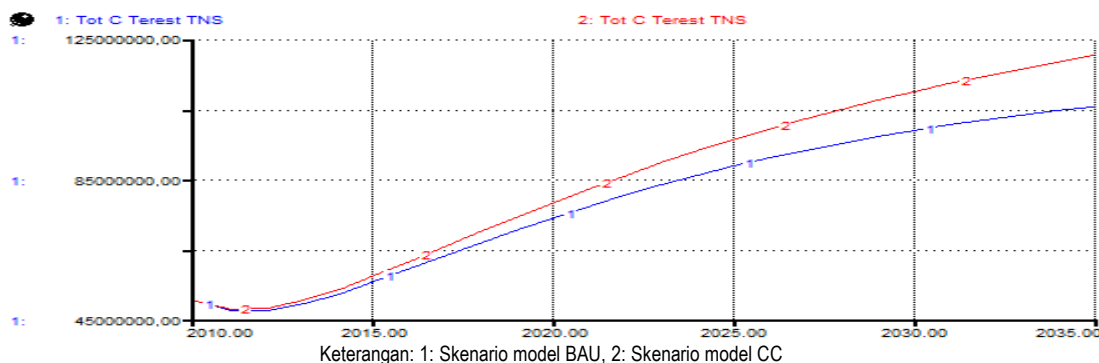


Gambar 5 Prediksi perilaku peningkatan jumlah penduduk terhadap kualitas lingkungan.

Sensitivitas Model

Pengujian analisis sensitivitas terhadap model bertujuan untuk menelaah variabel eksogen yang dapat mendeterminasi naik turunnya variabel endogen, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas

suatu kebijakan. Variabel laju deforestasi dan degradasi hutan mangrove pada penelitian ini merupakan salah satu faktor determinan terhadap tingkat output total karbon terestrial (lihat Gambar 6).



Gambar 6 Sensitivitas model peningkatan laju karbon terestrial pada skenario model *business as usual* dan skenario model *carbon crediting*

Faktor determinan variabel laju deforestasi dan degradasi hutan pada model BAU dengan tingkat laju penyusutan hutan rata-rata sebesar 14.875 ha th⁻¹ menunjukkan total karbon terestrial rata-rata sebesar 211.486 tCO₂ th⁻¹ (*baseline*). Sementara itu, laju deforestasi dan degradasi hutan pada skenario model CC, yang diasumsikan 10% dari tingkat penyusutan hutan model BAU, menunjukkan total karbon terestrial meningkat rata-rata sebesar 4,82 juta tCO₂ th⁻¹. Tingkat laju karbon terestrial pada dua skenario tersebut membentuk pola *S-Shaped growth* atau membentuk

contagion model (Kirkwood 1998). Model pertumbuhannya merupakan respon hutan mangrove terhadap keterbatasan daya dukung lingkungannya maupun keterbatasan organisme itu sendiri seperti faktor umur tanaman maupun penyakit.

Implikasi Kebijakan

Implikasi kebijakan pada studi ini ditujukan untuk menyelesaikan berbagai persoalan berdasarkan hasil kajian skenario pemodelan. Sasarannya adalah untuk menyelesaikan atau mengurangi tingkat deforestasi dan degradasi hutan mangrove, bahaya

emisi CO₂ serta dampak lain yang ditimbulkannya terhadap keberlanjutan pengelolaan sumberdaya pesisir.

1. Secara sosial, dampak tekanan penduduk terhadap lahan perlu diantisipasi dengan mengontrol tingkat pertumbuhan penduduk pada tingkat maksimum 2,58% th⁻¹, baik pengontrolan terhadap laju natalitas maupun pengontrolan laju imigrasi pada kebijakan transmigrasi saat ini.
2. Secara politik, apabila opsi *carbon crediting* melalui mekanisme REDD+ akan diterapkan, maka kebijakan yang harus dilakukan Pemerintah Indonesia adalah berupaya pada COP 17 (*conference of the parties*) di Dublin Afrika Selatan agar REDD+ memiliki kekuatan hukum internasional seperti *Kyoto Protocol*.
3. Kebijakan Pemerintah Indonesia dengan penurunan 26% emisi GRK pada tahun 2020 (asumsi 0,676 GtCO₂) akan terbantu pencapaiannya bila diterapkan kebijakan pengelolaan kawasan konservasi berbasis perdagangan karbon. Argumentasi ini didukung fakta ilmiah hasil studi dimana kawasan TNS saja mampu berkontribusi untuk mereduksi 10,65% emisi CO₂ (72,03 juta tCO₂) pada tahun 2020.

KESIMPULAN

Berdasarkan *scientific evidence* hasil simulasi pada skenario model *carbon crediting* menunjukkan pola kriteria pareto optimum. Tingkat alokasi sumberdaya mangrove memberikan peningkatan *benefit* kepada variabel *sylofishery*, tetapi memberikan dampak pada turunnya variabel karbon terestrial. Basis pengambilan keputusan diantara dua opsi pemanfaatan pada skenario model CC tersebut harus didasarkan pada aspek efisiensi optimum pemanfaatan sumberdaya alam antara nilai ekonomi dan tingkat emisi CO₂ yang dihasilkannya. Selain itu juga aspek keberlanjutan ekologi dan prinsip keadilan dalam distribusi nilai jual jasa lingkungan untuk masyarakat merupakan dua aspek lainnya yang harus dipertimbangkan. Atas dasar itu, maka kebijakan implementasi yang diperlukan adalah adanya pengaturan pemanfaatan lahan yang ketat dalam hal konversi hutan serta memprioritaskan lahan-lahan marjinal untuk berbagai opsi pemanfaatan lahan.

Reference emission level (REL) untuk usaha penyerapan dan penyimpanan karbon sebaiknya dilakukan secara nasional, sehingga tidak membebani

investor dalam penyusunan *baseline study*. Selain itu, prosedur perijinannya disarankan agar lebih efisien dan ada kepastian dalam proses penyelesaiannya di departemen teknis terkait, sehingga dapat mengurangi biaya transaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bratasida, L. 2010. **Perspektif dan Analisis Copenhagen Accord**. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup R.I.
- Busch, J., Bernardo Strassburg, Andrea Cattaneo, Ruben Lubowski, Aaron Bruner, Richard Rice, Anna Creed, Ralph Ashton, Frederick Boltz. 2009. **Comparing Climate and Cost Impacts of Reference Levels for Reducing Emissions from Deforestation**. Journal of Environmental Research Letters 4.
- ESRI, Environmental System Research Institute. 2000. **Understanding GIS: The Arc/Info Method**. Redlands, CA.
- Hartrisari, H. 2007. **Sistem Dinamik Konsep Sistem dan Pemodelan untuk Industri dan Lingkungan**. Bogor: SEAMEO.
- HPS, High Performance Systems, Inc. 1994. **Introduction to Systems Thinking and I-Think**. Hanover: High Performance Systems, Inc.
- Kirkwood, C.W. 1998. **System Dynamic Methods: A Quick Introduction**. Tempe, AZ: College of Business Arizona State University.
- Kusumastanto, T., S. Koeshendrajana, A. Fahrudin and L. Adrianto. 1998. **Cost benefit analysis of habitat conservation in Malacca Straits. Malacca Straits Demonstration Project**. Bogor: Center for Coastal and Marine Resources Studies, Bogor Agricultural University.
- Kusumastanto, T. 2001. **An Evaluation on Investment Strategy for the Development of Brakishwater Shrimp Aquaculture Industry in Indonesia**. Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan. ISSN 0833-3989 Vo. 1 No. 4: 1-28.
- _____. 2003. **Ocean Policy dalam Membangun Negeri Bahari di Era Otonomi Daerah**. Cetakan I. Jakarta: Penerbit PT. Gramedia.
- Kusmana, C., Sabiham, S., Abe, K., Watanabe, H.

1992. **An estimation of above ground tree biomass of a mangrove forest in East Sumatra, Indonesia**. Tropics. Vol. 1 (4), pp. 243-257.
- Kusmana, C. 2003. **Teknik Rehabilitasi Mangrove**. Bogor: Fakultas Kehutanan-IPB
- Krisnawati, H. 2010. Status Data Stok Karbon Dalam Biomas Hutan di Indonesia. Bogor: Pusat Penelitian Sosial Ekonomi dan Kebijakan Kehutanan.
- MI, Meridian Institute. 2009. **Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report**. Prepared for The Government of Norway. Pada: <http://www.REDD-OAR.org>
- Meadows, D.H; D.L. Meadows; J. Randers; W.W. Behrens IH. 1972. **The Limits to Growth**. New York: Universe Books.
- Munasinghe, M 2003. **Analysing the Nexus of Sustainable Development and Climate Change: An Overview**. Sri Lanka: Munasinghe Institute for Development.
- Murdiyarso, D., U. Rosalina, K. Hairiyah, L. Muslihat, INN. Suryadi Putra dan A. Jaya. 2004. **Petunjuk Lapangan Pendugaan Cadangan Karbon Pada Lahan Gambut (Field Instruction to Estimate Carbon Stock at Peatland)**. Bogor: Project of CCFPI, WIIP-White Life Habitat Canada.
- Perman, R., Yue Ma, and J. McGilvray. 1996. **Natural Resource and Environmental Economics**. Singapore: Longman.
- Raison, J., Waterworth, R., Twomey, A. 2009. **Guidelines for Evaluation and Use of Allometric Equations and Biomass C Data Sourced from the Review of Available Information**.
- TCG, The Terrestrial Carbon Group. 2008. **How to Include Terrestrial Carbon in Developing Nations in the Overall Climate Change Solution**. <http://terrestrialcarbon.org>.
- Twilley, R.R, R.H. Chen, T. Hargis. 1992. **Carbon Sink in Mangroves and Their Implications to Carbon Budget of Tropical Coastal Ecosystem**. Lafayette, LA: Departement of Biology, University of Southwestern Luisiana.
- Wibowo, A. 2010. **Measurable, Reportable, dan Verifiable (MRV) untuk Gas Rumah Kaca dari Kegiatan Kehutanan**. Bogor: Pusat Penelitian Sosial Ekonomi dan Kebijakan Kehutanan.